

НД возможно реализовать принципиально другую схему, если раньше необходимо было все делать последовательно, то сейчас возможно делать это параллельно.

При формировании наряда в приложении, он отправляется на утверждение и согласование сразу всем ответственным лицам. Если же возникла ситуация при которой наряд не был согласован в какой-либо инстанции, то он возвращается на доработку ответственному за подготовку наряда, при повторном отправлении на согласование полученные ранее электронные подписи (ЭП) сохраняются. При согласовании всеми лицами, можно сразу же приступать к работам [2].

Создание наряда-допуска будет выглядеть приблизительно следующим образом.

- Заполнение атрибутов наряда-допуска;
- выбор объектов и оборудования из соответствующего «дерева»;
- выбор ответственных и исполнителей из списков сотрудников предприятия / подрядных организаций;
- контроль правильности и полноты введенных данных.

Электронное оформление нарядов-допусков – это экономия компании ресурсов, как человеческих и материальных. Для реализации этой модели, стоит изучить юридическую сторону вопроса об электронных подписях, так и по охране труда. Возможность использования ЭП при согласовании нарядов-допусков на проведение ремонтных работ устанавливается внутренними документами эксплуатирующей организации в соответствии с требованиями Федерального закона от 6 апреля 2011 года № 63-ФЗ «Об электронной подписи» [4].

Допускается оформление и регистрация наряда-допуска на проведение ремонтов в электронном виде. Но для того, чтобы электронная форма наряда-допуска на производство работ повышенной опасности соответствовала всем требованиям, необходимо исключить возможность несанкционированного изменения информации в наряде-допуске на проведение ремонтных работ, и обеспечить условия хранения наряда-допуска на проведение ремонтов в течение одного года со дня его закрытия [3].

Электронная система позволяет существенно экономить время, сокращая передвижения по месторождению. Для процесса оформления и согласования наряда на работы требуется всего несколько минут и подключенный к интернету компьютер. Среди других преимуществ электронной системы – удобство согласования и внесения правок, поиска и фильтрации нарядов, сохранение всей истории работ и согласований, возможность получения аналитики по нарядам в целом и по конкретным процессам. Система позволяет наблюдать на карте в режиме реального времени за проведением тех или иных работ и установкой различных блокировок. Доступ к системе возможен как с рабочих компьютеров сотрудников, так и со специально оборудованных точек доступа для представителей подрядных организаций.

#### Литература

1. Приказ № 528 от 15 декабря 2020 года «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ».
2. Электронное подписание наряд-допусков [Электронный ресурс] // URL: <https://ecm-journal.ru/docs/Ehlektronnoe-podpisanie-naryad-dopuskov-na-raboty-povyshennoj-opasnosti.aspx>
3. Сибур диджитал: наряд-допуск: для чего он нужен и почему электронный лучше бумажного [Электронный ресурс] // URL: <https://www.sibur.digital/50-naryad-dopusk-dlya-chego-on-nuzhen-i-pochemu-elektronnyy-luchshe-bumazhnog>
4. Федеральный закон "Об электронной подписи" от 06.04.2011 N 63-ФЗ (последняя редакция).

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КРАТКОВРЕМЕННОЙ РАЗГРУЗКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВМК РВ ЭЭС**

**Киевец А.В., Гусев А.С., Суворов А.А.**

Научный руководитель - профессор А.С. Гусев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

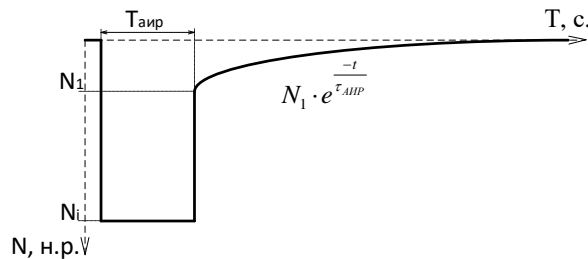
Важнейшим режимным параметром нормальной работы электроэнергетической системы является, строго регламентированная частота 50 Гц или в отдельных странах 60 Гц, значение которой обеспечивается балансом генерируемой и потребляемой активной мощности в ЭЭС. Данный баланс обеспечивает синхронную работу всех генераторов в ЭЭС. Однако проблема сохранения устойчивости при возникновении аварийного избытка генерируемой мощности (возникающего вследствие отключения межсистемных связей или нагрузки значительной мощности) до сих пор не решена в полной мере. В настоящее время для сохранения устойчивости при подобных видах возмущений используются следующие управляющие воздействия противоаварийной автоматики:

1. Отключение генератора. Эффективный (экономичный) способ устранения аварийного избытка активной мощности в случае применения на гидроагрегатах [6]. Использование отключения генератора на турбогенераторах является технологически нежелательным, т.к. при его использовании возникает нежелательный режим работы турбины, которая начинает ускоряться, что в свою очередь оказывает чрезмерное воздействие на подшипники, а в случае чрезмерного ускорения возникает необходимость использования аварийных клапанов и стравливать пар в атмосферу. Кроме того, время обратного подключения турбогенератора в сеть может достигать 2 часов. К тому же отключение генератора обладает малой дискретностью по количеству разгружаемой мощности.

2. Электрическое торможение. Шунтирующие нагрузку динамические тормоза с использованием механического переключения используются крайне редко [7]. Одним из преимуществ данного УВ является скорость срабатывания, вплоть до десятков миллисекунд, в случае использования тиристорных выключателей. Однако его использование предполагает постройку системы, состоящей из множества выключателей (генераторного напряжения) и высоковольтных резисторов большой мощности с целью формирования необходимого количества тормозной мощности равной избыточной генерируемой мощности.

3. Противоаварийная разгрузка турбогенератора. Данное управляющее воздействие является наиболее экономически и технологически обоснованным средством ликвидации аварийного избытка генерируемой активной мощности [3]. Противоаварийная разгрузка турбогенератора состоит из: автоматической импульсной разгрузки, для сохранения динамической устойчивости и длительной разгрузки турбогенератора с целью сохранения статической устойчивости. Принцип действия данного УВ заключается в резком закрытии регулирующих клапанов турбогенератора с последующим их открытием. Однако для эффективного использования противоаварийное управление турбогенератора необходима ее соответствующая, адекватная реальным условиям, настройка.

Управляющее воздействие противоаварийной разгрузки турбогенератора позволяет осуществить разгрузку турбогенератора на необходимый уровень генерируемой активной мощности с приемлемым переходным процессом, т.е. с минимальным количеством и глубиной синхронных качаний, данный переходный процесс возможен при адекватной настройке управляющее воздействие противоаварийной разгрузки турбогенератора, заключающейся в определении значений параметров сигнала автоматической разгрузки турбогенератора (рис. 1).



**Рис. 1. Сигнал автоматической импульсной разгрузки, где  $N_i$  – максимальная амплитуда сигнала измеряемое в неравномерностях [н.р.];  $T_{аир}$  – длительность максимальной амплитуды, с.  $N_1$  – Величина частичного снятия сигнала;  $\tau_{аир}$  – постоянная времени обнуления сигнала**

Поскольку процессы в разгружаемом турбогенераторе взаимосвязаны с процессами в электроэнергетической системе, то для адекватной реальным условиям настройки параметров управляющего воздействия противоаварийной разгрузки турбогенератора оказывается необходимым полное и достоверное воспроизведение единого непрерывного спектра процессов в разгружаемом турбогенераторе с учетом влияния всех систем регулирования и электроэнергетической системы в целом. Ввиду того что натурные эксперименты в реальной электроэнергетической системе, тем более аварийного характера, не допустимы, а физическое моделирование весьма сложно и обременено значительными ограничениями, единственным способом воспроизведения процессов в разгружаемом турбогенераторе и электроэнергетической системе в целом является преимущественно математическое моделирование.

В данном случае встает вопрос выбора математической модели турбогенератора для настройки управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора. Математическая модель, предназначенная для моделирования управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора предлагаемая в [8] состоит только из ступеней усиления турбогенератора. В данном случае не учитывается система регулирования мощностью турбогенератора (измерители частоты и мощности, золотники, сервомоторы). В [4, 5] в отличие от [8] учтены сервомотор в виде интегрирующего звена и золотник в виде звена запаздывания, а также измеритель скорости, однако, для получения полной информации о процессах в турбогенераторе при использовании управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора необходимо воспроизводить золотники и сервомоторы как для части высокого, так и для части среднего давления, к тому же все перечисленные модели не учитывают влияния котлоагрегата и его систем регулирования на процесс функционирования управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора. Учитывая выше сказанное, была разработана соответствующая математическая модель и реализована в разработанном в Томском Политехническом университете – Всережимном моделирующем комплексе реального времени электроэнергетических систем [1, 2].

Была произведена настройка управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора на примере модели Тюменской энергосистемы, с тестированием трех различных управляющих воздействий противоаварийного управления турбогенератора:

- Case1:  $N_i=4$  н.р.,  $T_{аир}=0,1$  сек.,  $N_1=1$  н.р.,  $\tau_{аир}=3,5$  сек.;
- Case2:  $N_i=3,5$  н.р.,  $T_{аир}=0,2$  сек.,  $N_1=1$  н.р.,  $\tau_{аир}=1$  сек.;
- Case3:  $N_i=3$  н.р.,  $T_{аир}=0,3$  сек.,  $N_1=1$  н.р.,  $\tau_{аир}=5$  сек.

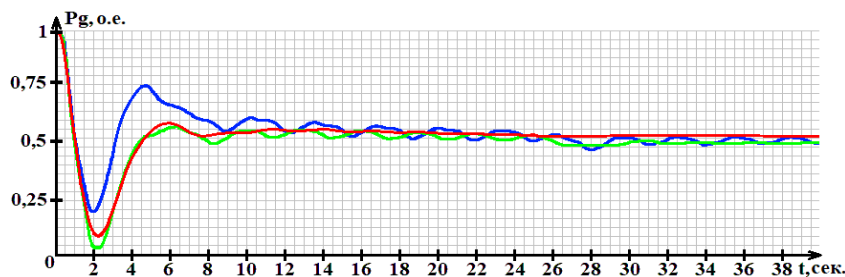


Рис. 2. Изменение генерируемой активной мощности при использовании управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора: Case1 – синий; Case2 – зеленый; Case3 – красный

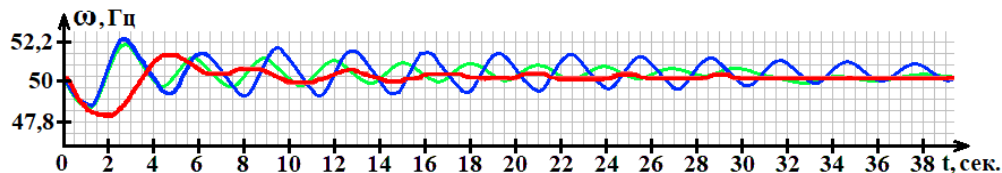


Рис. 3. Изменение частоты ( $\omega$ ) при использовании управляющего воздействия противоаварийного управления турбогенератора: Case1 – синий; Case2 – зеленый; Case3 – красный

На рисунках 2-3 показаны осциллограммы аварийных переходных процессов. Из них видно, что использование управляющего воздействия противоаварийной разгрузки турбогенератора является эффективным способом ликвидации аварийного избытка активной мощности. Также видно, что различные значения параметров управляющего воздействия противоаварийной разгрузки турбогенератора сильно влияют на характер разгрузки турбогенератора. Наиболее благоприятная разгрузка наблюдается при использовании Case3, в данном случае разгрузка турбогенератора происходит практически без перерегулирования и с минимальными синхронными качаниями, что свидетельствует о практически идеальном подборе значений параметров.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание "Наука" № FSWW-2020-0017.

#### Литература

1. Andreev M. Hybrid real-time simulator of large-scale power systems [Text] / Gusev A., Ruban N., Suvorov A., Ufa R., Askarov A., Bemš J., Králík T. // IEEE Transaction Power System. – 2019 – V. 34(2). – P. 1404–1415.
2. Andreev M., Platform based on hybrid real-time power system simulator for development and research of intelligent power systems with active-adaptive networks [Text] / Sulaymanov A. // International Conference IEEE Eindhoven PowerTech - 2015.
3. Bhatt, N.B., Field experience with momentary fast turbine valving and other special stability controls employed at AEP's Rockport Plant [Text], IEEE Transactions on Power Systems. – 1996 – V.11 (1). – P. 155-161.
4. Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies IEEE Power & Energy Society, Technical report 2013.
5. Dynamic Models Package „Standard-1“ GMB Dynamic Models for PPS, Siemens 2012.
6. Kosterev, D. Feasibility study of using synchronized phasor measurements for generator dropping controls in the Colstrip system [Text] / Esztergalyos, J., and Stigers, C.A. // IEEE Transactions on Power Systems. – 1998. – V. 13 (3). – P. 755-762.
7. Kundur, P. Power System Stability and Control [Book], McGraw-Hill, New York, 1994.
8. Turbine-governor models. Standard Dynamic Turbine-Governor Systems in NEPLAN Power System Analysis Tool, Neplan, 2015.

#### АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ВЕТРЯНУЮ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЮ

Киньшин А.И., Малькова Я.Ю., Уфа Р.А.

Научный руководитель - доцент Р.А. Уфа

Национальный исследовательский Томский политехнический университет г. Томск, Россия

Проблема возникновения и демпфирования низкочастотных колебаний известна и по-разному решается в электроэнергетических системах. Существующий подход, который главным образом ориентирован на изменения настроек автоматических регуляторов возбуждения, частоты и мощности генераторов, чрезвычайно сложен, трудно реализуем и ограничен в своих возможностях [3]. Помимо этого также происходит внедрение объектов возобновляемой энергетики, подключаемых через статические преобразователи напряжения, ввиду увеличения уровня генерируемой мощности, уменьшения инерции в системе, неустойчивого и непостоянного свойства энергии возобновляемых источников энергии, происходит постоянное изменение процесса в электроэнергетической системе, его частотного спектра и увеличивается возможность возникновения низкочастотных колебаний, параметры и траектория изменения которых отличны от низкочастотных колебаний в традиционных энергосистемах [1].